

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
25. März 2004 (25.03.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 2004/025223 A2(51) Internationale Patentklassifikation: G01D 1/00,  
G01N 27/416

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2003/009438

(22) Internationales Anmeldedatum:  
26. August 2003 (26.08.2003)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
102 39 610.8 29. August 2002 (29.08.2002) DE(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von  
US): ENDRESS + HAUSER CONDUCTA GMBH+CO.  
KG [DE/DE]; Dieselstrasse 24, 70839 Gerlingen (DE).

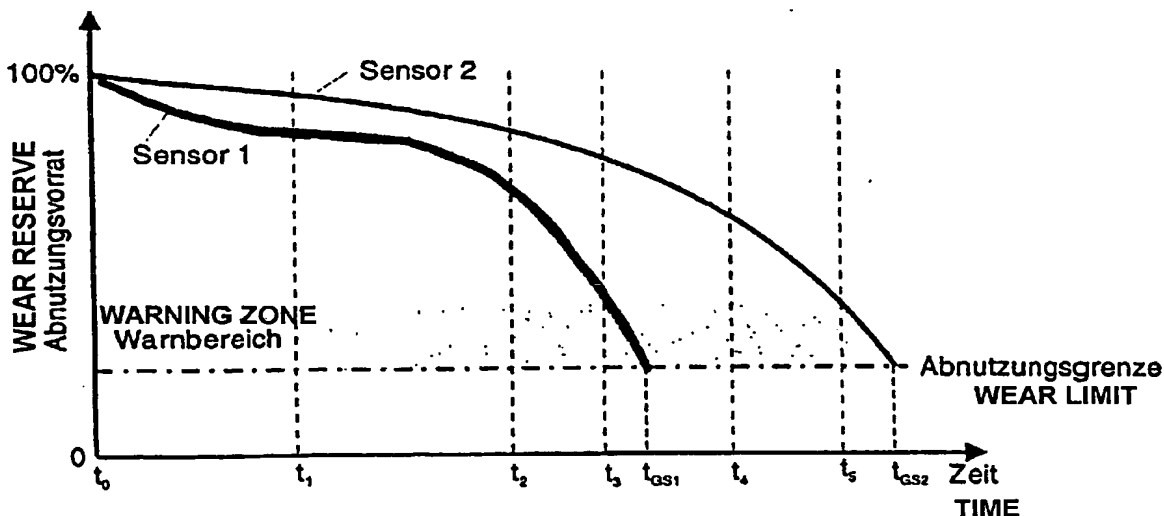
(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): WITTMER, Detlev  
[DE/DE]; Distelweg 34, 75433 Maulbronn (DE). STEIN-  
MÜLLER, Dirk [DE/DE]; Stettinerstrasse 21, 76139  
Karlsruhe (DE). FIKUS, Axel [DE/DE]; Lauschka  
18, 04746 Hartha (DE). HAMMELEHLE, Wilfried  
[DE/DE]; Ulrich-von-Hutten-Str. 17, 70825 Korn-  
tal-Münchingen (DE).(74) Anwalt: ANDRES, Angelika; Endress + Hauser Deutsch-  
land Holding GmbH, PatServe, Colmarer Strasse 6, 79576  
Weil am Rhein (DE).(81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT,  
AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR,  
CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE,  
GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR,  
KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK,  
MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR MONITORING SENSOR FUNCTION

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR FUNKTIONSÜBERWACHUNG VON SENSOREN



(57) Abstract: The invention relates to a method for monitoring the function of sensors, for example electrochemical, electrophysical or optical sensors, used to measure and monitor condition parameters of liquids or gases, in particular in the field of process measurement technology. According to said method, the sensor is switched to a test mode at periodic intervals and test parameters are recorded, or said test parameters are recorded at periodic intervals in the course of the measured value recording process. The recorded parameters are stored and to monitor the function of the sensors a subsequent temporal progression of the stored test parameters is evaluated. The future progression of the expected sensor behaviour is predicted from said evaluation and information concerning the duration of the remaining faultless operation of the sensor is obtained.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



SC, SD, SE, SG, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,  
UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) **Bestimmungsstaaten (regional):** ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Funktionsüberwachung von Sensoren zur Messung und Überwachung von Zustandsparametern von Flüssigkeiten oder Gasen, insbesondere im Bereich der Prozessmesstechnik, beispielsweise von elektrochemischen, elektrophysikalischen oder optischen Sensoren, wobei der Sensor in zeitlichen Abständen in einen Prüfzustand versetzt wird und Prüfparameter erfasst werden oder diese Prüfparameter in zeitlichen Abständen im Zuge der Messwerterfassung erfasst werden, wobei die erfassten Parameter gespeichert werden und zur Durchführung der Funktionsüberwachung eine seitherige zeitliche Entwicklung der gespeicherten Prüfparameter ausgewertet wird und daraus die zukünftige zu erwartende Entwicklung des Sensorverhaltens vorhergesagt wird und Informationen über die Dauer des verbleibenden störungsfreien Betriebs des Sensors gewonnen werden.

## **Verfahren zur Funktionsüberwachung von Sensoren**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Funktionsüberwachung von Sensoren zur Messung und Überwachung von Zustandsparametern von Flüssigkeiten oder Gase, insbesondere im Bereich der Prozessmesstechnik. Es kann sich hierbei um an sich beliebige elektrochemische, elektrophysikalische oder optische Sensoren, insbesondere potentiometrische oder amperometrische, photometrische oder spektrometrische Sensoren handeln. Bei den zu messenden und zu überwachenden Zustandsparametern kann es sich beispielsweise um den pH-Wert, den CO<sub>2</sub>-, O<sub>2</sub>-Gehalt, die Konzentration eines Stoffes in einer wässrigen Lösung oder die elektrische Leitfähigkeit handeln.

Sensoren im Bereich der Prozessmesstechnik unterliegen einer zeitlichen aber auch stark anwendungsbezogenen Alterung. Insbesondere sind Sensoren, welche in flüssigen Medien, zum Beispiel bei der Überwachung von chemischen Prozessen eingesetzt werden, besonderen Beanspruchungen ausgesetzt, so dass die Anforderungen an ihre chemische Beständigkeit und an ihre Temperaturbeständigkeit hoch sind. Ebenso können sich Verschmutzung und Belagsbildung auf dem Sensor in Folge des Medienkontakts störend auswirken und die Standzeit des Sensors verringern. Die Funktionsfähigkeit eines Sensors und seine Standzeit werden durch äußere Einflüsse oder innere, im Sensor vorliegende Einflüsse beeinträchtigt beziehungsweise beeinflusst. Es ist daher nicht möglich, die Standzeit eines Sensors im allgemeinen oder für jeden Sensor im speziellen Anwendungsfall anzugeben, und vorherzusagen, was als nachteilig anzusehen ist.

Bei elektrochemischen, elektrophysikalischen oder optischen Sensoren im Bereich der Prozessmesstechnik werden üblicherweise von Zeit zu Zeit Kalibrierungen durchgeführt, bei denen Mittels entsprechender Normalien eine Zwei- oder Mehrpunktkalibrierung zu Grunde gelegt wird. Die auf diese Weise erhaltenen Kalibrierdaten werden zur Verfügbarkeit für die Messwertauswertung in einem Speicher eines Messwertumformers oder aber des Sensors selbst (siehe noch nicht veröffentlichte DE 102 18 606.5) abgelegt. Bei der Messwernerfassung und -Auswertung werden dann diese Kalibrierdaten und gegebenenfalls weitere

**BESTÄTIGUNGSKOPIE**

Messdaten, wie zum Beispiel die Temperatur des Messmediums, herangezogen.

Beispielsweise wird eine pH-Messkette, die durch eine pH-Glaselektrode und eine Bezugselektrode gebildet ist, durch die Parameter Nullpunkt und Steilheit der Kurve der Messkettenspannung charakterisiert. Als Glaselektrodenfehler sind Steilheitsfehler, Alkalifehler und Nullpunkt bekannt. Die Lebensdauer einer pH-Elektrode ist daher sowohl von den Einsatzbedingungen, aber auch von der Beständigkeit des verwandten Elektrodenglases abhängig. In der Regel sind Einflüsse auf die sogenannte Membranfläche, also Belagbildung aus Kalk, Gips, Fetten, Eiweiß und dergleichen durch chemische Reinigung behebbar. Nicht behebbar sind jedoch Alterungsprozesse im Inneren des Sensors, die auch bei Lagerung stattfinden. Vor allem aber verringern der Betrieb bei extremen pH-Werten aber bei hohen Temperaturen die Lebensdauer einer Glaselektrode drastisch.

Bezugselektroden hingegen besitzen ein Diaphragma, welches den elektrolytischen Kontakt zwischen einem Bezugselektrolyten und der Messlösung ermöglicht. Fehler können daher zum Beispiel durch Verschmutzung und Blockierung des Diaphragmas oder durch sog. Elektrodenvergiftung aufgrund eindringender Fremdionen in den Bezugselektrolyten hervorgerufen werden. Die Folge ist eine Veränderung der Zellenspannung der Bezugselektrode (der Halbzellenspannung), des sogenannten Bezugspotentials, was sich wiederum als Nullpunktsveränderung der gesamten Messkettenspannung bemerkbar macht.

Es sind daher Verfahren zur Funktionsüberwachung von elektrochemischen Sensoren bekannt, wobei zum Beispiel der Innenwiderstand einer Messelektrode und einer Bezugselektrode in zeitlichen Abständen gemessen wird und bei Überschreiten oder Unterschreiten praxisbezogen definierter Werte eine Alarmmeldung ausgegeben wird. Nach diesen Verfahren wird abgewartet, bis der Sensor einen kritischen Bereich erreicht und dann ausgewechselt werden muss.

Es gibt eine Vielzahl von Verfahren zur Funktionsüberwachung von Sensoren im Bereich der Prozessmesstechnik, wobei stets anhand von Prüfparametern die momentane Funktionserfüllung des Sensors geprüft wird.

Beispielhaft sei DE 42 12 792 C2 und DE 34 19 034 A1 genannt.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, ein Verfahren zur Funktionsüberwachung mit den Merkmalen des Oberbegriffs des Patentanspruchs 1 dahingehend zu verbessern, dass ausgeschlossen werden kann, dass der Sensor während der folgenden Betriebsperiode bis zur nächsten Funktionsprüfung seine Funktionsfähigkeit verliert, und zwar ohne dass der Sensor lange vor Erreichen seiner Abnutzungsgrenze ausgetauscht wird, so dass die wertvolle Standzeit des Sensors möglichst weitgehend ausgenutzt werden kann.

Diese Aufgabe wird bei einem gattungsgemäßen Verfahren erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass die erfassten Prüfparameter gespeichert werden und dass zur Durchführung der Funktionsüberwachung eine seitherige zeitliche Entwicklung der gespeicherten Prüfparameter ausgewertet wird und dass daraus die zukünftige zu erwartende Entwicklung des Sensorverhaltens vorhergesagt wird und Informationen über die Dauer des verbleibenden störungsfreien Betriebs des Sensors gewonnen werden.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass aus der seitherigen zeitlichen Entwicklung von Prüfparametern, die entweder im Rahmen der Messwerterfassung oder während periodischer Prüfzustände, insbesondere während der Kalibriervorgänge, gewonnen werden, in die Zukunft gerichtete Voraussagen über die zu erwartende Entwicklung des Sensorverhaltens gemacht werden können. Es soll also der noch verbleibende "Abnutzungsvorrat" des Sensors ermittelt werden. Anhand dessen können Steuervorgänge ausgelöst oder Entscheidungen über Steuervorgänge getroffen werden, falls dies erwünscht ist.

Dabei können in vorteilhafter Weise erfahrungsgemäß gewonnene Kenntnisse über das Verhalten eines bestimmten Sensortyps bzw. eines bestimmten Prüfparameters bei einem spezifischen Sensortyp verwendet werden, etwa dadurch, dass ein bestimmtes erfahrungsgemäßes Verhalten sehr gut wiedergebende mathematische Funktionen verwendet und deren Parameter ermittelt werden.

Es wäre zumindest grundsätzlich denkbar, dass eine erfahrungsgemäße zeitliche Entwicklung eines Prüfparameters in Form einer Kurve oder in sonstiger Weise für die Funktionsüberwachung zugänglich hinterlegt werden könnte, so dass durch Vergleich der ermittelten und gespeicherten Prüfparameter des zu überwachenden Sensors mit den hinterlegten Daten auf die zu erwartende Entwicklung des Sensorverhaltens geschlossen werden kann. Es könnte also insbesondere eine Aussage gewonnen werden, wie lange der Sensor noch außerhalb eines kritischen Verhaltens, also in einem sicheren Abstand zu einer Abnutzungsgrenze bleiben wird. - Es erweist sich aber demgegenüber als vorteilhaft, wenn zum Auswerten der seitherigen zeitlichen Entwicklung der gespeicherten Prüfparameter nichtlineare Interpolationsverfahren angewendet werden, um Funktionsparameter einer das Sensorverhalten beschreibenden Funktion zu gewinnen. Es wird also durch Interpolation im weitesten Sinne eine Funktion für die Prüfparameter errechnet, deren Werte dann auch für die Zukunft berechnet werden können. Es findet also im weitesten Sinne eine Extrapolation der in der Vergangenheit ermittelten Prüfparameter für die Zukunft statt.

Wie bereits vorstehend angedeutet, erweist es sich als besonders vorteilhaft, wenn für einen bestimmten Sensortyp und gegebenenfalls für einen bestimmten Anwendungsbereich eines bestimmten Sensortyps, etwa im alkalischen Medium, eine auf Erfahrung beruhende Funktion vorgegeben und verwendet wird, deren Funktionsparameter dann aber anhand einer Anzahl von konkreten erfassten Prüfparametern ermittelt werden. Vorzugsweise finden Polynomfunktionen hierfür Verwendung.

Wenn vorstehend von Informationen über die Dauer des verbleibenden störungsfreien Betriebs des Sensors gesprochen wird, so ist dies im weitesten Sinne zu verstehen. Insbesondere könnte nach einer jeweiligen Erfassung eines Prüfparameters oder in zeitlichen Abständen ein erster prädiktiver Wert für eine Abnutzungsgrenze ermittelt werden. An der Abnutzungsgrenze ist der Sensor nach wie vor funktionsfähig, d.h. er befindet sich in einem Betriebszustand, der (noch) durch elektrische Kompensationsmaßnahmen die Funktionalität der Messeinrichtung in gegebenenfalls engeren Grenzen ermöglicht. Jenseits der Abnutzungsgrenze ist

dies aber nicht mehr der Fall. Es wird also nach diesem weitergehenden Erfindungsgedanken derjenige Zeitpunkt rechnerisch anhand der erfassten Prüfparameter, insbesondere anhand der daraus gewonnenen Funktion oder im weitesten Sinne durch Extrapolation ermittelt, zu dem der Sensor die vorstehend erläuterte Abnutzungsgrenze erreicht haben wird.

Nach einer weiteren Ausführungsform der Erfindung könnte aber auch geprüft werden, ob vor dem nächsten Erfassen von Prüfparametern, also insbesondere vor dem nächstfolgenden Kalibrierzyklus, die Abnutzungsgrenze erreicht sein wird. Je nach dem kann eine entsprechende Warnmeldung ausgegeben werden, oder es können Maßnahmen verschiedenster Art, beispielsweise automatisierte Reinigungsmaßnahmen, eingeleitet werden.

Nach einer weiteren vorteilhaften Verfahrensvariante kann geprüft werden, ob ein prädiktiv gewonnener Wert des Prüfparameters innerhalb eines Warnbereichs diesseits der bisher definierten Abnutzungsgrenze liegt. Auch in diesem Fall könnten geeignete Informationen angezeigt oder Maßnahmen ausgelöst werden. Die bisher definierte Abnutzungsgrenze kann insbesondere anhand des prädiktiv gewonnenen Werts korrigiert werden.

In besonders bevorzugter Weiterbildung des Erfindungsgedankens wird vorgeschlagen, dass anhand der erfindungsgemäß gewonnenen Informationen über die Dauer des verbleibenden störungsfreien Betriebs Maßnahmen für die Wartung, beispielsweise Reinigungsmaßnahmen, Ersetzung der Sensorflüssigkeit von Verschleißteilen oder des Filters oder dergleichen, ermittelt und ausgegeben und/oder angezeigt und gegebenenfalls eingeleitet werden.

Es erweist sich des Weiteren als besonders vorteilhaft, wenn anhand der Informationen über die Dauer des verbleibenden störungsfreien Betriebs ein prädiktiver Zeitpunkt des Austauschs des Sensor ermittelt und vorzugsweise ausgegeben und/oder angezeigt wird. Diese Information des bevorzugten Zeitpunkts des Austauschs des Sensors kann natürlich auch in an sich beliebiger Weise an zentrale Rechen- und Steuereinheiten weitergegeben und dort in an sich beliebiger

Weise verarbeitet werden.

Wenn vorstehend von Prüfparametern die Rede war, so waren hierunter an sich beliebige Zustandsdaten oder Zustandsinformationen des Sensors erfasst, welche sich im Zuge des Betriebs des Sensors verändern und in einem funktionalen Zusammenhang zur Standzeit des Sensors stehen.

Insbesondere bei potentiometrischen Sensoren, wie pH-Sensoren, O<sub>2</sub>- oder CO<sub>2</sub>-Sensoren erweist es sich als besonders vorteilhaft, wenn als Prüfparameter die Steilheit des Sensorsignals oder der Sensorsignale (Einzelsensor, Sensorkette oder Sensor-Array) in einem jeweiligen Prüfzustand des Sensors, also beispielsweise vorzugsweise während der zyklischen Kalibrierung des Sensors, erfasst und ausgewertet wird. Es wird hierunter also im Falle des beispielhaft genannten pH-Sensors die Steilheit der Messkettenspannung oder Zellen-EMK verstanden. Gleichermäßen könnte es sich um die hinterlegten Werte der Kalibrierfunktion eines photometrischen oder spektrometrischen Sensors handeln.

Des Weiteren kann es sich als vorteilhaft erweisen, wenn als Prüfparameter der Nullpunkt dieses Messkettensignals in einem jeweiligen Prüfzustand des Sensors erfasst und ausgewertet wird.

Eine besondere Bedeutung kommt auch der Erfassung und Auswertung des Innenwiderstands einer Elektrode als Prüfparameter zu, da dies in vorteilhafter Weise während des normalen Messbetriebs möglich ist, wohingegen die Ermittlung von Steilheit und Nullpunktlage nur bei unterbrochenem Messbetrieb, insbesondere während der zyklisch durchgeführten Kalibrierverfahren, möglich ist.

Aber auch die Veränderung des dynamischen Verhaltens vom Sensor selbst erzeugter Signale lässt sich als Prüfparameter erfassen und auswerten. So kann beispielsweise die Anstiegs-/ beziehungsweise Abfallzeit bei der Signalerfassung oder die Signaleinschwingzeit oder das dynamische Verhalten des Rauschens des Sensors in der erfindungsgemäßen Weise zur Funktionsüberwachung verwendet werden.

Dynamisches Verhalten kann beispielsweise über ein Zyklovoltogramm ermittelt werden.

Des Weiteren erweist es sich als vorteilhaft, wenn abhängig vom Sensortyp wenigstens eines, vorteilhafterweise aber mehrere unterschiedliche Prüfparameter jeweils zyklisch erfasst werden. Die dann jeweils gewonnenen Informationen über die zu erwartende Entwicklung des Sensorverhaltens und über die Dauer des verbleibenden störungsfreien Betriebs können dann dahingehend verwertet werden, dass bei der Frage des Erreichens des Abnutzungsgrenzzeitpunkts diejenigen Prüfparameter Berücksichtigung finden, welche den nächstliegenden Abnutzungsgrenzzeitpunkt bedingen.

Es erweist sich auch als vorteilhaft, wenn sensorspezifische Grunddaten bei der Auswertung Verwendung finden. Anhand dieser sensorspezifischen Grunddaten, die aus einer Speichereinrichtung des Sensors, des Messwertumformers oder in sonstiger Weise, etwa über das Internet oder über Aktualisierungsdatenträger erhalten und verwendet werden, können beispielsweise bevorzugte und insbesondere ebenfalls hinterlegte Funktionen für den betreffenden Prüfparameter gewonnen und für die Durchführung des Verfahrens herangezogen werden.

In einer weiteren vorteilhaften Ausbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens, können vorausschauende Hinweise zu Wartungs- oder Inspektionsmaßnahmen mit detaillierten Anweisungen, die Vorrichtung zu reinigen, auszuwechseln oder zu prüfen, gegeben werden, wenn sich herausstellt, dass ein für die Zukunft ermittelter Wert eines Prüfparameters in einem Warnbereich diesseits der Abnutzungsgrenze liegt. Ebenso können Empfehlungen für logistische Maßnahmen, welche die Lagerhaltung oder Materialbestellung betreffen, entsprechend hinterlegtem Erfahrungswissen ausgegeben oder in beliebiger Weise veranlasst werden.

Die Ergebnisse der Funktionsüberwachung könnten außerdem beispielsweise über prozesskompatible Schnittstellen, wie zum Beispiel Profibus, Foundation Fieldbus, Ethernet und dergleichen an eine Prozessleitstelle übermittelt werden.

Als Mittel zur gemeinsamen Nutzung der identischen Bedienoberfläche und zur Darstellung der ausgewerteten Prüfparameter, beispielsweise im Messumformer oder einem angeschlossenen PC, kann beispielsweise ein identischer Device Type Manager (DTM) verwendet werden.

Weitere Merkmale, Einzelheiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus den Patentansprüchen, der zeichnerischen Darstellung und nachfolgenden Beschreibung einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung. In der Zeichnung zeigt:

Figur 1 in schematischer Darstellung einen Teil einer Messeinrichtung;

Figur 2 den Verlauf sensorspezifischer Prüfparameter über der Zeit.

Figur 1 zeigt schematisch einen Teil einer Messeinrichtung, welche einen Sensor 1, eine Rechen- und Speichereinheit 2 sowie eine Anzeige- und Bedieneinheit 3 umfasst. Als optionale Komponente ist in das System eine automatisierbare Kalibrier- und Reinigungseinheit 4 mit zugehöriger Steuerung integriert.

Bei dem Sensor 1 kann es sich in vorteilhafter Weise um einen Sensor mit einer Kommunikationsschnittstelle und einem internen digitalen Speicher sowie zugehöriger prozessorgesteuerter Elektronik handeln; das erfindungsgemäße Verfahren ist aber auch unter Verwendung eines konventionellen Sensors mit analoger Signalausgabe an die Recheneinheit 2 eines Messwertumformers durchführbar.

Rechen- und Speichereinheit 2 sowie die Bedieneinheit 3 können in einem Feldgerät mit graphischem Display integriert sein, alternativ ist aber auch, wie dargestellt, ein PC verwendbar. Die Messeinrichtung besitzt auch eine Kommunikationsschnittstelle, um über die gängigen Kommunikationsverfahren via Internet oder lokalem Intranet mit einer zentralen Prozessleitstelle in Verbindung treten zu können oder von extern angesprochen werden zu können.

In Figur 2 ist der Verlauf sensorspezifischer Daten sensorspezifischer Prüfparameter über der Zeit aufgetragen. Beispielsweise durch äußere Einflüsse bedingt ist die Funktionsfähigkeit des Sensors zeitlich begrenzt; er unterliegt der Abnutzung. Sensorspezifisch gibt es verschiedene Einflussgrößen, wie die Belastung durch das Messmedium, die Belastung durch Temperatur und klimatische Einflüsse, aber auch die alterungsbedingte Abnutzung sowie sonstige chemische oder physikalische Vorgänge, die einen unterschiedlich schnellen Abbau des sog. Abnutzungsvorrats bis zur definierten Abnutzungsgrenze beeinflussen.

Für einen jeweiligen Prüfparameter ist in der Speichereinheit in Abhängigkeit vom spezifischen Sensortyp ein der Abnutzungsgrenze entsprechender Parameterwert hinterlegt. Ebenso ist daran angrenzend ein Warnbereich definiert und hinterlegt. Wie eingangs erwähnt, ist bei Erreichen der Abnutzungsgrenze die Funktionsfähigkeit der Messeinrichtung zwar noch gegeben, eine weitere Veränderung oder Verschlechterung der Sensorparameter hätte jedoch Fehlfunktionen zur Folge.

Für das Beispiel einer pH-Messkette ist in Figur 2 der Verlauf der sogenannten Elektrodensteilheit der Messkettenspannung dargestellt. Die Messeinrichtung erfasst dabei während eines jeweiligen Kalibriervorgangs die Messkettenspannungen und normiert die gewonnenen Werte in an sich bekannter Weise (zum Beispiel wie in DIN IEC 746-2 beschrieben). Die Ergebnisse werden dann in der Speichereinheit abgelegt.

Über ein sogenanntes Prädiktivprogramm zur Steilheitsüberwachung wird nun bei Vorliegen einer ersten Anzahl von Werten durch nichtlineare Interpolation eine Polynomfunktion ermittelt und ein erster prädiktiver Wert für die Abnutzungsgrenze in der Zukunft ermittelt. Dieser wird gespeichert. In Abhängigkeit von den Einsatzbedingungen und den daraus resultierenden Kalibrierzyklen, die sich im Tages- oder Wochenabstand abspielen können, werden die Daten ergänzt, d.h. es werden weitere Prüfparameter erfasst und deren Polynomfunktion ermittelt und jeweils durch Extrapolation im weitesten Sinne die Werte der Funktion zu weiteren Zeitpunkten  $t_i$  bestimmt. Sobald der betreffende Prüfparameter auf die definierte

Größe des Warnbereichs absinkt, zum Beispiel bei Absinken des Elektrodensteilheitswerts auf 80% der theoretischen Steilheit der Messkettenspannung über der  $H^+$ -Ionenkonzentration, wird der ebenfalls ermittelte Abnutzungsgrenzzeitpunkt als Warninformation ausgegeben. Wie in den Beispielen der beiden Sensoren der Figur 2 sind dies die Zeitpunkte ( $t_{GS1}$  und  $t_{GS2}$ ).

Wie vorausgehend erwähnt, können alternativ oder zusätzlich als Prüf- oder Überwachungsparameter der Messkettenspannungsnullpunkt oder der Innenwiderstand der Glaselektrode und/oder der Bezugselektrode berücksichtigt werden.

Die erfindungsgemäße Maßnahme der Berücksichtigung der seitherigen Entwicklung von in zeitlichen Abständen erfassten Prüfparametern für die Ermittlung der zukünftig zu erwartenden Entwicklung des Sensorverhaltens, führt zu einer optimalen Ausnutzung der Funktionsfähigkeit des Sensors. Der Sensor braucht nicht schon lange vor Ablauf seiner Standzeit ausgewechselt zu werden, und andererseits wird das Risiko weitestgehend minimiert, dass der Sensor während des bestimmungsgemäßen Betriebs funktionsunfähig wird.

Gleichermaßen können vorausschauende Vorsorgemaßnahmen, z. B. Bereitstellung und Beschaffung von Ersatzmaterialien im Sinne einer optischen Instandhaltungsstrategie eingeleitet werden.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Funktionsüberwachung von Sensoren zur Messung und Überwachung von Zustandsparametern von Flüssigkeiten oder Gasen, insbesondere im Bereich der Prozessmesstechnik, beispielsweise von elektrochemischen, elektrophysikalischen oder optischen Sensoren, wobei der Sensor in zeitlichen Abständen in einen Prü fzustand versetzt wird und Prüfparameter erfasst werden oder Prüfparameter in zeitlichen Abständen im Zuge der Messwerterfassung erfasst werden, dadurch gekennzeichnet, dass die erfassten Prüfparameter gespeichert werden und dass zur Durchführung der Funktionsüberwachung eine seitherige zeitliche Entwicklung der gespeicherten Prüfparameter ausgewertet wird und dass daraus die zukünftige zu erwartende Entwicklung des Sensorverhaltens vorhergesagt wird und Informationen über die Dauer des verbleibenden störungsfreien Betriebs des Sensors gewonnen werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zum Auswerten der seitherigen zeitlichen Entwicklung der gespeicherten Prüfparameter nichtlineare Interpolationsverfahren angewendet werden, um Funktionsparameter einer das Sensorverhalten beschreibenden Funktion zu gewinnen.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass für einen jeweiligen Sensor eine das erfahrungsgemäße Sensorverhalten wiedergebende Funktion vorgegeben und verwendet wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass es sich bei der Funktion um eine Polynomfunktion handelt.
5. Verfahren nach einem oder mehreren der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein erster prädiktiver Wert für die Abnutzungsgrenze ermittelt wird.

6. Verfahren nach einem oder mehreren der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass geprüft wird, ob vor dem nächsten Erfassen von Prüfparametern die Abnutzungsgrenze erreicht wird.

7. Verfahren nach einem oder mehreren der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass geprüft wird, ob ein prädiktiv gewonnener Wert des Prüfparameters innerhalb eines Warnbereichs diesseits der bisher definierten Abnutzungsgrenze liegt.

8. Verfahren nach einem oder mehreren der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass anhand der Informationen über die Dauer des verbleibenden störungsfreien Betriebs Maßnahmen für die Wartung ermittelt und ausgegeben und/oder angezeigt und gegebenenfalls eingeleitet werden.

9. Verfahren nach einem oder mehreren der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass anhand der Informationen über die Dauer des verbleibenden störungsfreien Betriebs ein prädiktiver Zeitpunkt des Austauschs des Sensors ermittelt und gegebenenfalls ausgegeben wird.

10. Verfahren nach einem oder mehreren der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass als Prüfparameter die Steilheit des Sensorsignals oder der Sensorsignale in einem jeweiligen Prüfzustand des Sensors erfasst und ausgewertet wird.

11. Verfahren nach einem oder mehreren der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass als Prüfparameter der Nullpunkt des Sensorsignals oder der Sensorsignale in einem jeweiligen Prüfzustand des Sensors erfasst und ausgewertet wird.

12. Verfahren nach einem oder mehreren der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass als Prüfparameter der Innenwiderstand einer Elektrode erfasst und ausgewertet wird.

13. Verfahren nach einem oder mehreren der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass als Prüfparameter die Veränderung des dynamischen Verhaltens vom Sensor selbst erzeugter Signale erfasst und ausgewertet wird.

14. Verfahren nach einem oder mehreren der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mehrere verschiedene Prüfparameter erfasst und ausgewertet werden.

15. Verfahren nach einem oder mehreren der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zur Auswertung sensorspezifische Grunddaten aus einer Speichereinrichtung des Sensors oder des Messwertumformers, über das Internet oder über Aktualisierungsdatenträger erhalten und verwendet werden.

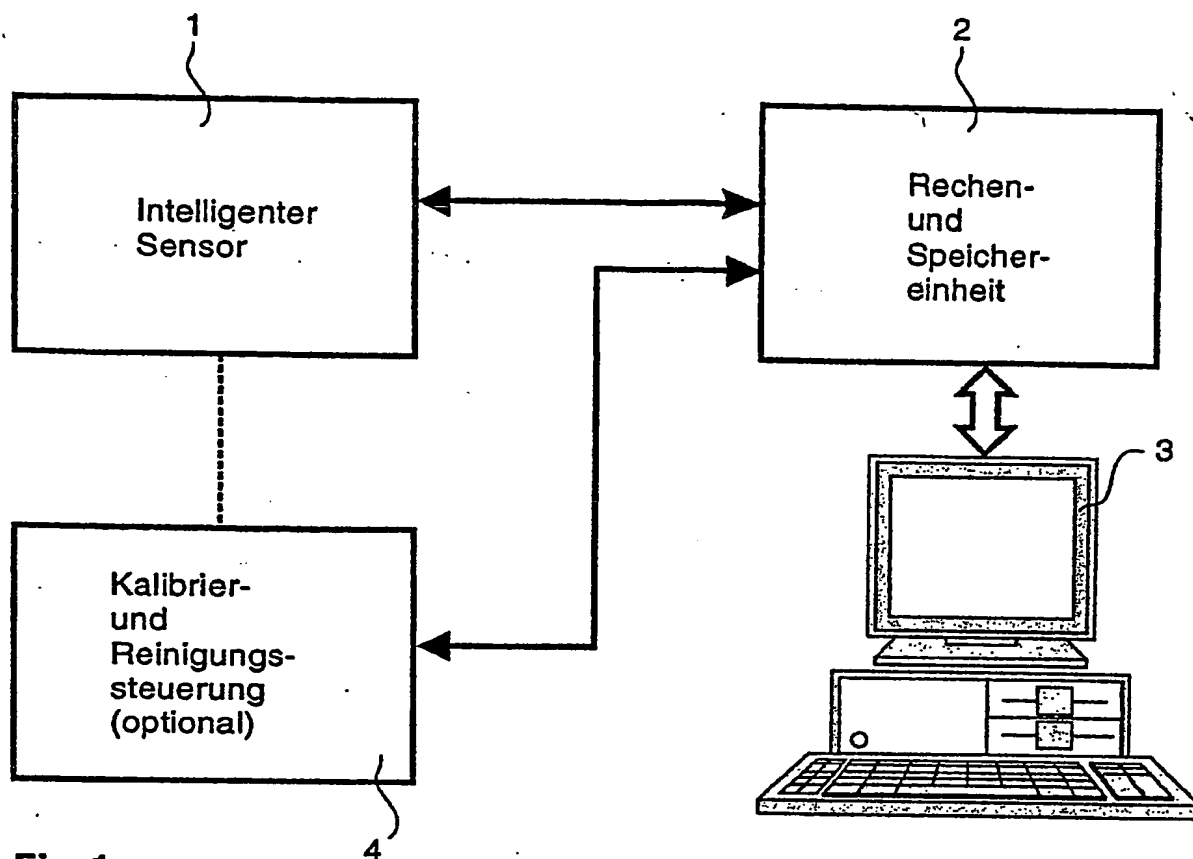


Fig. 1

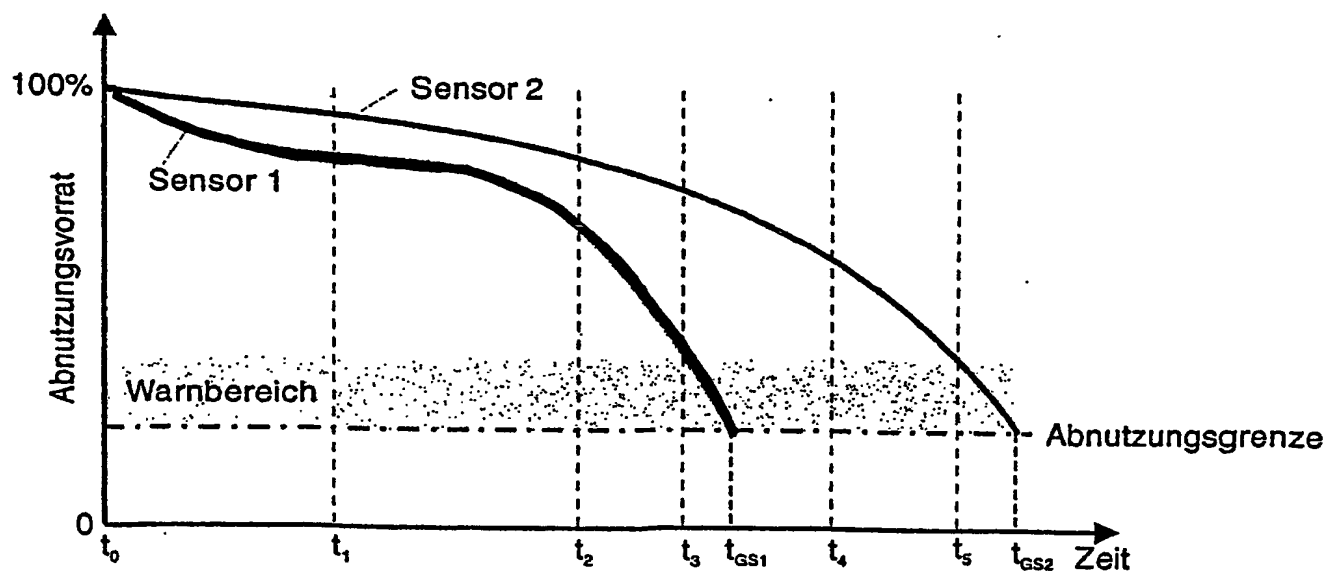


Fig. 2